

Д.В. Ромашов, Д.О. Федоренко,
В.А. Федорович, д-р техн. наук, Харьков Украина,
М. Хорват, д-р техн. наук, Будапешт, Венгрия

РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ СВЕРХСКОРОСТНОГО ШЛИФОВАНИЯ

У статті проведені дослідження можливості застосування різних відомих конструкцій шліфувальних кругів в режимі надшвидкісного шліфування. Досліджено елементи системи "оброблюваний матеріал - покриття - зерно - металофаза - зв'язка". Аналіз здійснювався шляхом 3D моделювання напружено-деформованого стану зони шліфування і спікання. За результатами дослідження встановлено, що алмазні шліфувальні круги на різних стандартних зв'язках при швидкостях понад 200 м / с мають значні поля критичних напружень і руйнуються. Розроблено найбільш наближені до реальності динамічні 3D-моделі процесу шліфування алмазними колами та процесу спікання, що враховують анізотропію властивостей алмазних зерен і їх форму.

В статье проведены исследования возможности применения различных известных конструкций шлифовальных кругов в режиме сверхскоростного шлифования. Исследованы элементы системы "обрабатываемый материал - покрытие - зерно - металофаза - связка". Анализ осуществлялся путем 3D моделирования напряженно-деформированного состояния зоны шлифования и спекания. По результатам исследования установлено, что алмазные шлифовальные круги на различных стандартных связках при скоростях свыше 200 м/с имеют значительные поля критических напряжений и разрушаются. Разработаны наиболее приближенные к реальности динамические 3D-модели процесса шлифования алмазными кругами и процесса спекания, учитывающие анизотропию свойств алмазных зерен и их форму.

D.V. ROMASHOV, D.O. FEDORENKO, V.A. FEDOROVICH, M. HORVAT
DEVELOPMENT OF METHODOLOGY 3D MODELING OF HIGH-VELOCITY GRINDING

The paper investigated the possibility of using various well-known designs of grinding wheels in the ultrafast regime grinding. Were studied components of the system, "work material - coating - grain - metalphase - sheaf". The analysis was carried out by 3D modeling tensely-deformed conditions sintering and grinding area. The study found that diamond grinding wheels for a variety of standard bundles at speeds over 200 m / s have a significant field of critical stresses and destroyed. Developed the most approximate to the reality of dynamic 3D-model of the grinding diamond wheels and the sintering process, taking into account the anisotropy of the properties of diamond grains and their shape.

В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений повышения эффективности операций шлифования и расширения его технологических возможностей является изменение скорости резания, задаваемой частотой вращения круга, т.е. применение процесса высокоскоростного шлифования.[1]

Высокоскоростное или сверхскоростное шлифование – это метод обработки со скоростями свыше 80м/с, который повышает производительность, точность и качество обработанной поверхности. Повышение скорости алмазного шлифования до нескольких сотен метров в секунду связано с решением

сложных задач – проблем прочности шлифовального круга (разрыв круга), отслоения алмазоносного слоя и др.[3]

Создание методологических основ и системы 3D-CAD моделирования алмазных композиционных материалов (АКМ) в режиме сверхскоростного шлифования даст существенные преимущества для дальнейшего использования процесса. Предлагаемая 3D методология исследования процессов сверхскоростного шлифования в первом приближении представлена на рисунке 1.

Исследования разделяются на два направления: изучение собственно процесса шлифования на высоких скоростях и подбор необходимых свойств компонентов круга; изучение процесса изготовления кругов с необходимыми свойствами для реализации процесса шлифования.

Таким образом, реализуется идеология полной компьютерной автоматизации моделирования процесса эксплуатации АКМ при сверхскоростном шлифовании, что рассматривается как приближение к идеологии CALS-технологий (Computer-Aided Logistics Support)[2].

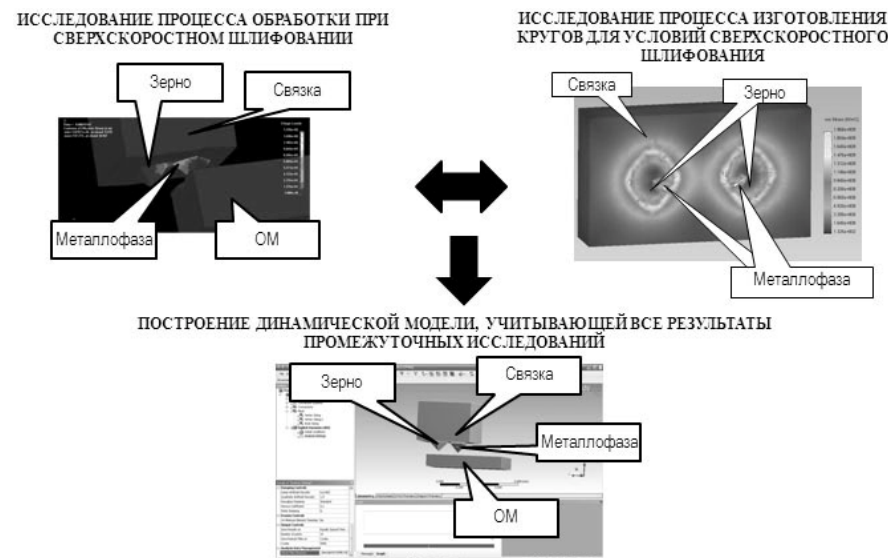


Рисунок 1 — Концепция комплексного подхода к моделированию процесса сверхскоростного шлифования.

На первом этапе моделирования исследовались возможности сочетания различных компонентов системы «связка-зерно-металлофаза-обрабатываемый материал» при скоростях шлифования свыше 100 м/с.

Т.к. при высоких скоростях основной проблемой является разрушение круга от действия значительных центробежных сил, целью данного этапа бы-

ло установить необходимые свойства связок для надежного закрепления алмазного слоя и исследование разрушения корпуса круга в целом.

Для реализации поставленных задач изучения НДС в зоне шлифования при заточке инструмента из СТМ были использованы расчетные комплексы ANSYS, LS-DYNA, Cosmos, Third Wave AdvantEdge. Построение 3D-моделей, имитирующих процесс резания применялась система автоматизации проектных работ (САПР) SolidWorks.

Примененная к процессу шлифования методика 3D моделирования его напряженно-деформированного состояния позволила проанализировать 3D НДС системы «связка-зерно-металлофаза-обрабатываемый материал» в зависимости от технологических режимов шлифования (наиболее критический параметр – изменение скорости), вида связки и металла-катализатора, концентрации зерен и зернистости. Для повышения точности теоретических расчетов алмазное зерно моделировалось с учетом наличия в нем металлических включений, присутствующих в реальном зерне после синтеза (рисунок 2).

На рисунке 2 изображена 3D модель системы «связка-2 зерна-металлофаза-обрабатываемый материал» в окне вычислительного комплекса ANSYS с сеткой конечных элементов.

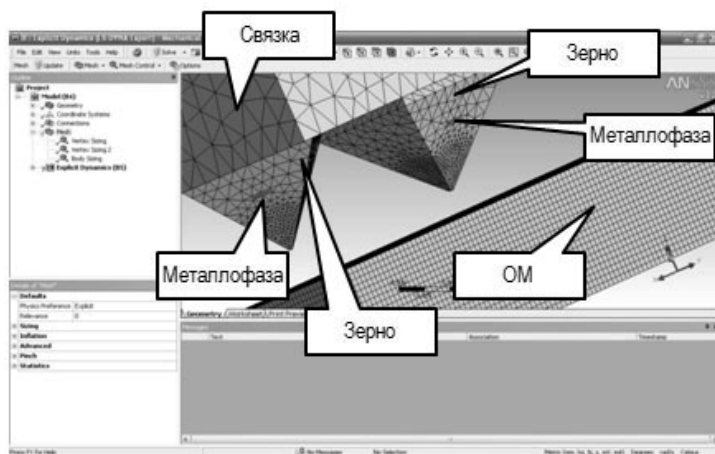


Рисунок 2 — Конечно-элементная сетка 3D модели для динамической модели процесса сверхскоростного шлифования

Впервые были проведены динамические расчеты для изучения процесса сверхскоростного шлифования, в которых, на данной стадии, устанавливалось влияние различных скоростей и концентрации зерен в одной модели на 3D НДС зоны шлифования (рисунок 3).

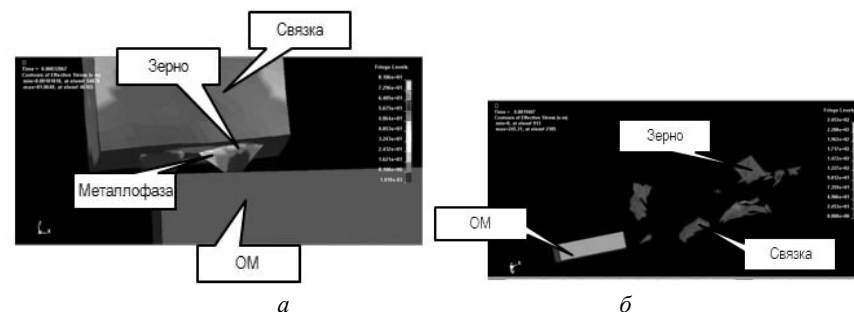


Рисунок 3 — Динамика процесса сверхскоростного шлифования: скорость шлифования 270 м/с, связка на основе железа (а); скорость шлифования 270 м/с, связка на основе алюминия (б)

Расчеты 3D напряженно-деформированного состояния системы «связка-2 зерна-металлофаза- обрабатываемый материал» позволили выявить тенденции увеличения степени повреждения зерен и связывающего материала: при значительных скоростях (свыше 100 м/с) наблюдается рост критических напряжений с увеличением концентрации зерен, а также полное разрушение связывающего материала с меньшим модулем упругости.

После установления необходимых характеристик алмазных кругов для режимов сверхскоростного шлифования необходимо было установить теоретическую возможность изготовления данных кругов. Для этого проводились расчеты путем моделирования процесса спекания алмазноносного слоя.

Впервые проведены расчеты спекания алмазно-абразивного инструмента с учетом анизотропии свойств алмазных зерен для их использования при сверхскоростном шлифовании. Для проведения теоретических расчетов необходимо использовать различные вариации формы зерна. Это позволяет упростить некоторые промежуточные расчеты в целях экономии машинного времени. На рисунке 4 приведены конечноэлементные модели используемых в расчетах форм зерен. Для приближения к реальной динамической модели с учетом максимального количества характеристик в дальнейших исследованиях будет использоваться модель зерна в форме октаэдра (рисунок 4, б)

Анализ приведенных напряжений показал, что в зависимости от ориентации алмазного зерна, меняются зоны повышенных напряжений, однако разность максимальных напряжений при различных ориентациях алмаза не превышает 10%, что говорит об адекватности результатов предыдущих расчетов без учета свойств анизотропии алмаза.

В существующей литературе [3] приведены результаты множественных испытаний с целью выявления свойств алмаза при различных ориентациях. Мы примем в расчет вариант, при котором модуль упругости при воздейст-

вии на одну из трех плоскостей сдвига $\{110\}/\{111\}/\{101\}$ равняется соответственно 900/750/700 МПа. Результаты расчетов, представленные на рисунок 5 (а,б,в,) отображают НДС системы «зерно-металлофаза-связка» при ориентировании фронтальной плоскости в качестве плоскости кристалла $\{110\}$, $\{111\}$ и $\{101\}$ соответственно

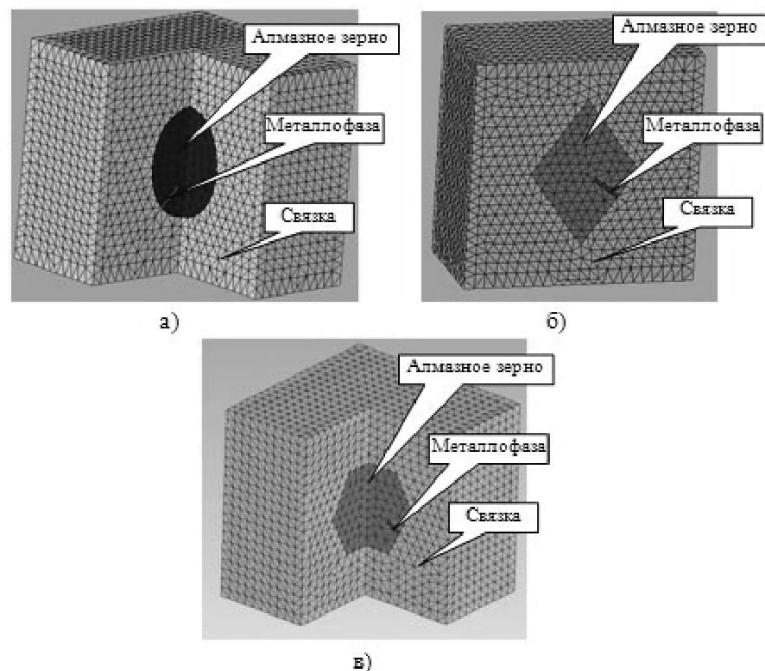


Рисунок 4 – Конечно-элементная сетка 3D модели для эллипсоида (а), октаэдра (б) и додекаэдра (в)

Расчеты 3D напряженно-деформированного состояния системы «связка-зерно-металлофаза» позволили выявить тенденции увеличения степени повреждения зерен: с уменьшением прочности алмазных зерен; с ростом концентрации зерен; с увеличением температуры спекания.

В дальнейшем планируется создать оптимальные сочетания компонентов шлифовального круга на основе существующих типов связок, а так же создание оригинальных с добавлением наноструктурированных материалов в связующий элемент. Для этого необходима экспертная система прогнозирования поведения алмазных кругов в условиях сверхскоростного шлифования.

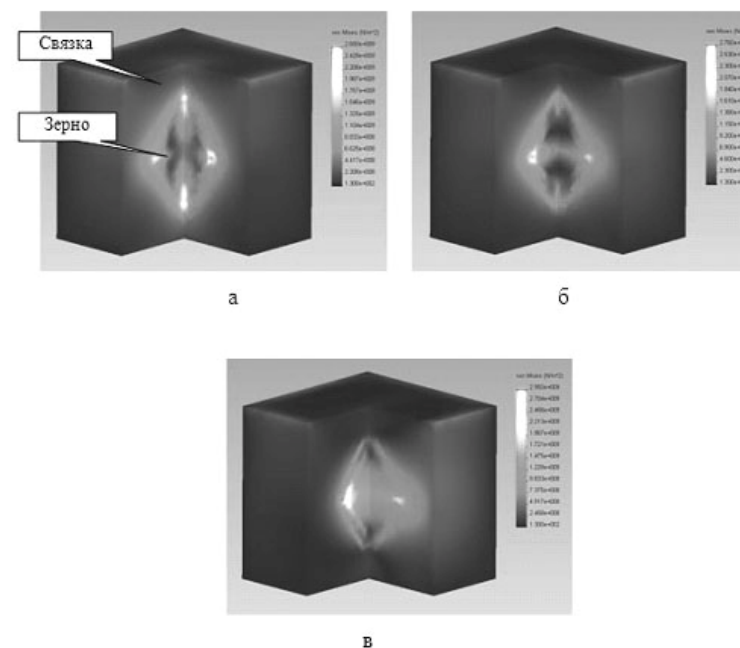


Рисунок 5 —Распределения напряжений в 3D модели «зерно-металлофаза-связка» при анизотропии свойств алмаза при ориентировании фронтальной плоскости в качестве плоскости кристалла $\{110\}$ (а), $\{111\}$ (б) или $\{101\}$ (в)

Список использованных источников: 1. Сверхтвердые материалы. Получение и применение. Монография в 6 томах. Том 3: Композиционные инструментальные материалы / Под общей ред. Н.В. Новикова. – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля, ИПЦ "Алкон" НАНУ, 2005. 2. Yuan Z.J., Yao Y.X. Lapping of Single Crystal Diamond Tools//CIRP Annals - Manufacturing Technology.-2003.-№1.-C.285-288. 3. Yali Hou1, Changhe Li1, Yan Zhou Applications of High-Efficiency Abrasive Process with CBN Grinding Wheel//CIRP Annals - Manufacturing Technology.-2010.-№2.-C.184-189

Поступила в редколлегию 12.04.2011

Bibliography (transliterated): 1. Sverhtverdy materialy. Poluchenie i primenenie. Monografija v 6 tomah. Tom 3: Kompozicionnye instrumental'nye materialy / Pod obwey red. N.V. Novikova. – Kiev: ISM im. V. N. Bakulja, IPC "Alkon" NANU, 2005. 2. Yuan Z.J., Yao Y.X. Lapping of Single Crystal Diamond Tools//CIRP Annals - Manufacturing Technology.-2003.-№1.-S.285-288. 3. Yali Hou1, Changhe Li1, Yan Zhou Applications of High-Efficiency Abrasive Process with CBN Grinding Wheel//CIRP Annals - Manufacturing Technology.-2010.-№2.-S.184-189